

PENETRATING RADIATION ON THE SEA

Note by D. PACINI; Le Radium VIII, 307 (1910)

Translated and commented by M. De Maria and A. De Angelis *
INFN and University of Udine

Foreword – At the beginning of the twentieth century, two scientists, the Austrian Victor Hess and the Italian Domenico Pacini, developed independently brilliant lines of research,¹ leading to the determination of the origin of atmospheric radiation. Before their work, the origin of the radiation today called “cosmic rays” – was strongly debated, as many scientists thought that these particles came from the crust of the Earth.

The approach by Hess is well known: Hess measured the rate of discharge of an electroscope that flew aboard an atmospheric balloon. Because the discharge rate increased as the balloon flew at higher altitude, he concluded in 1912 that the origin could not be terrestrial. For this discovery, Hess was awarded the Nobel Prize in 1936, and his experiment became legendary.

One year before the conclusive experiment by Hess, in 1911, Pacini, a researcher at the National Institute of Meteorology and Geodynamics and then professor at the University of Bari, made a series of measurements to determine the intensity of the radiation while the electroscope was immersed in a box in the sea near the Naval Academy in the Bay of Livorno (the Italian Navy supported the research) and later in the Bracciano lake. The measures are documented in his work *La radiazione penetrante alla superficie ed in seno alle acque*². Pacini discovered (italics are in the original) that the discharge of the oscilloscope was significantly slower than at the surface: “The apparatus [...] was enclosed in a copper box to be able to immerse in depth. [...] The experiments were performed [...] with the apparatus on the surface and immersed at a depth of 3 meters. [...] It appears from the results of the work described in this Note: that *a sizable cause of ionization exists in the atmosphere, originating from penetrating radiation, independent of the direct action of radioactive substances in the soil.*”

*Thanks to Dr. Stefania De Angelis from Williams Language Solutions for help in the translation and editing; and to N. Giglietto, S. Stramaglia, A. Garuccio, L. Guerriero, E. Menichetti, P. Spinelli, F. Guerra, N. Robotti, R. Garra, L. Cifarelli and P. Carlson for discussions and for material about the work of Pacini.

¹P. Carlson and A. De Angelis, *Nationalism and internationalism in science: the case of the discovery of cosmic rays*, to appear in Eur. Phys. J. H, arXiv:1012.5068 [physics.hist-ph]; A. De Angelis, *Domenico Pacini, uncredited pioneer of the discovery of cosmic rays*, Rivista del Nuovo Cimento 33, 713-756, 2010.

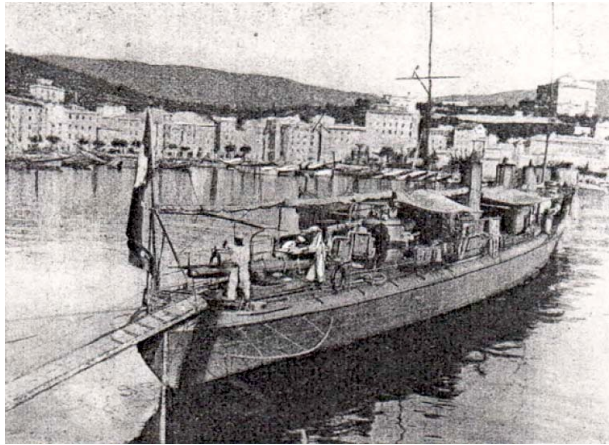
²D. Pacini, *La radiazione penetrante alla superficie ed in seno alle acque*, Nuovo Cim. **VI/3** (1912) 93 (February 1912), translated and commented by A. De Angelis, *Penetrating radiation at the surface of and in water*, arXiv:1002.1810 [physics.hist-ph]).

Documents testify¹ that Pacini and Hess knew of each other's work. Pacini died in 1934, two years before the Nobel Prize was awarded for the discovery of cosmic rays. While Hess is remembered as the discoverer of cosmic rays, the simultaneous discovery by Pacini is forgotten by most.

Pacini expressed from his very first works on penetrating radiation³ the belief that the direct action of active substances in the soil was not sufficient to explain the observed properties of penetrating radiation, and developed a coherent research line to demonstrate his thesis. One year before his conclusive article reporting the measurements in 1911, Pacini made an important step by comparing the air ionization on the sea's surface and on ground;^{4,5} he found that the radiation is only slightly smaller at the sea's surface, and concluded that "results seem to indicate that *a substantial part of the penetrating radiation in the air, especially the one that is subject to significant fluctuations, has an origin independent of the direct action of active substances in the upper layers the Earth's crust.*"⁶

Here we publish a translation of the work in Ref. 5. Ref. 5 is, with minor modifications, the French translation of the original article published by Pacini in Italian (Ref. 4); the translation into French was not done by Pacini, but it comes from a late revision of the original article by Pacini himself. We thus decided to translate and publish Ref. 5, also since in the fundamental paper in which he publishes for the first time a significant effect,⁷ Hess quotes the partial 1908-1910 results by Pacini from the French version itself (Ref. 5).

The measurements were done on the *cacciatorpediniere* (destroyer) "Fulmine" from the Italian Navy, which was used since 1907 by the Central Bureau of Meteorology and Geodynamics; a picture of this boat taken⁸ during the first expedition in 1907, expedition to which Pacini participated, is shown below.



³See for example D. Pacini, Rend. Acc. Lincei **18** (1909) 123.

⁴D. Pacini, Ann. Uff. Centr. Meteor. **XXXII**, parte I (1910)

⁵D. Pacini, Le Radium **VIII** (1911) 307.

⁶In italics in the original.

⁷V. Hess, Phys. Zeit. **13** (November 1912) 1084.

⁸L. Palazzo, Bollettino della Società Aeronautica Italiana **13** (1908) 5.

PENETRATING RADIATION ON THE SEA

Note by D. PACINI

Translated and commented by M. De Maria and A. De Angelis

The penetrating radiation observed in the air over the soil surface is coming partly from the active substances in the upper layer of the Earth's surface as well as from their disintegration products, and partly from outside the soil.

The penetrating radiation originated from outside the soil is due at least in part to the transformation products of the radioactive elements of the air.

The radiation originating from the soil changes from place to place with the changes of the soil nature, in proportion to the content of active materials; in the same place, it may be reduced with an increase on the permeability of the upper layers, for example because of rainfall, but, for a dry soil, it should remain approximately constant.

The radiation originating from outside the soil varies with the atmospheric variations, being influenced by winds, rainfalls, modifications of the electric fields of the Earth; all these reasons can determine the accumulation of the active materials inside the lower layers of the air and the upper layers of the soil.

Many investigators, studying this phenomenon, have noticed considerable variations. For example, the author has found in Sestola in 1908 that the penetrating radiation entailed ionization rates from 6 to 30 ions per cm^3 per second⁹. Similarly Mache,¹⁰ in his experiments conducted in Innsbruck from October 1st 1907 to October 15th 1908, reached the conclusion that the penetrating radiation due to the active substances in the air, or fallen from the air on the soil, may be 4 times greater than that coming the soil itself.

Up to now, the results obtained show that if one measures the penetrating radiation in a place, with no influences from atmospheric variations or electric fields, where the soil is relatively rich in active substances, the importance of the soil and of the walls is predominant, with only minor variations in the series of values recorded. Conversely, if one performs the same measurement in a place, like Sestola, highly exposed to meteorological perturbations and variations of the electric potential, a larger variability of the penetrating radiation values is expected.

However, according to Wulf and Kurz, most of the radiation observed in air near the ground would be due to active substances of the surface layer and the radiation that does not come from inside the ground would be negligible compared to the other. The conclusion of Wulf's work are:

⁹D. Pacini, *Rend. Lincei*, **18** (1909) 123.

¹⁰H. Mache *Sitzungsberichte der K. Akad. der Wiss. Wien*, **119** (1910).

1. The penetrating radiation is caused by primary radioactive substances lying in the uppermost layers of the Earth extending down to about 1 m below the surface.
2. The fraction of the radiation stemming from the atmosphere is so small that is impossible to be detected by the methods that have been used.
3. The time fluctuations in the γ radiation can be explained by displacements of emanation-rich air masses under the surface of the Earth at larger or smaller depths.

We see then that the results of experiments in Sestola, in Innsbruck and elsewhere are not in agreement with the conclusions of Wulf¹¹ and Kurz¹². It is therefore necessary to do more research to see if the variable part of the penetrating radiation, that can sometimes take significant values, is really due to active substances contained in the soil, or whether its origin should be searched, at least in part, outside the soil.

These facts suggested to conduct some experiments on media capable to absorb γ radiation from the soil; for this purpose, I performed the series of observations at the surface of the sea, which will now be discussed.

The experiments were made in Livorno, at the Naval Academy, with two Wulf's devices.¹³ Such equipments, besides their low capacity (the ones I have used had capacities of 1.2 cm and 1.38 cm respectively) have the advantage to enable detecting possible losses caused by insulation faults.

Comparison between the indications of the two devices

The two devices I used will be designated by the letters A and B.

I should note that the thickness of the walls of the device A is larger than B. The loss ΔV_i due to isolation faults varied from a negligible amount, to 0.3 V per hour; only exceptionally it has reached 0.5 V. The first observations were made at the meteorological observatory of the Naval Academy. Denoting by ΔV the potential drop in volt per hour, we find that the mean of observations made with the device A ($\Delta V - \Delta V_i$) is of 16.3 volt per hour, while the device B gives for ($\Delta V - \Delta V_i$) the value of 25.4 V/h. These two numbers correspond, respectively, to 14.6 and 25.8 ions per cm^3 per second. From this value one must subtract the amount of ions which, as it will be discussed below, may be due to the direct action of the walls of the device; as a result I found:

$$\begin{aligned} n &= 14.6 - 4.7 = 9.9 \text{ ions per cm}^3 \text{ and per second with device A} \\ n &= 25.8 - 11.0 = 14.8 \text{ ions per cm}^3 \text{ and per second with device B.} \end{aligned}$$

Some measurements with both devices were then performed in the garden of the Naval Academy.

¹¹Th. Wulf, *Le Radium* **7** (1910) 171.

¹²K. Kurz, *Phys. Zeit.* **10** (1909) 834.

¹³Th. Wulf, *Phys. Zeit.* **10** (1909) 152.

The Academy is on the seaside. The building has on the land side a garden where I placed the two devices protected from the direct radiation from the Sun. These observations allowed me to assess how the two devices behave when placed in the same conditions. The experiments were continued for 10 days and measurements were made with each device every hour, from 7am to 8pm.

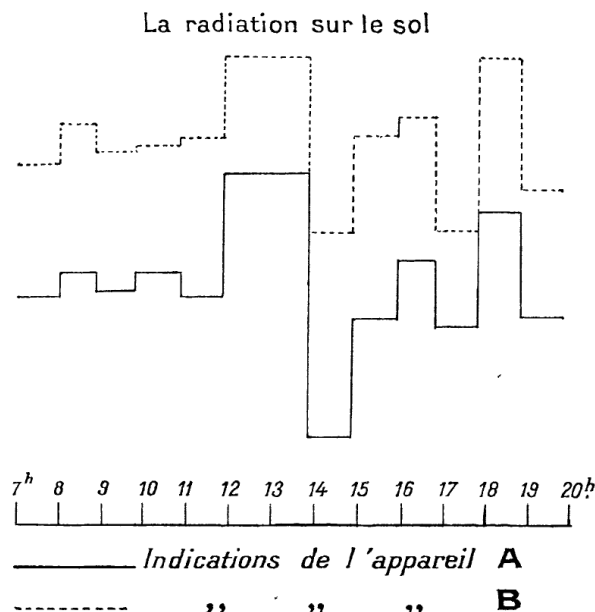


Figure 1

The diagram in Figure 1 displays the averages obtained taking into account all observations, and shows the time dependence of the phenomenon of penetrating radiation into this place during the 10 days in which observations were performed. The same diagram allows us to compare the indications of the two devices operating simultaneously in the same conditions.

If we consider the complexity of the phenomenon studied, that is influenced, as we know, by the device itself, we conclude *that both devices follow, with sufficient agreement, the variations of the penetrating radiation the atmosphere.*

To see how much of the observed ionization may be attributed to radiation coming from outside, it is necessary to minimize the action of external agents and to do this the two devices were placed in various locations, shielded by thick lead walls. They were exposed to the sea and on the Bracciano Lake at a distance from the shore large enough to totally exclude the action of the soil by the air layer interposed, and with a depth of the water large enough that the action of the sea (lake) bed was negligible. Furthermore the device A was immersed in the water of the Bracciano lake. However the absorbing layers were not successful in reducing the internal ionization below the smallest values obtained in the series of experiments on the surface of the sea.

The minimum value for $(\Delta V - \Delta V_i)$ obtained on the sea with the device A, was of 5.3 V, which is equivalent to 4.7 ions per cm^3 per second. The device B measured a minimum of 10.7 V, *i.e.*, 11.0 ions per cm^3 per second.

We can therefore say that the walls of the device A generate by themselves at most 4.7 ions per second per cm^3 of air contained within in device, and the walls of device B at most 11. The differences between the results of isolated observations and the numbers above can be attributed to the action of penetrating γ radiation from outside and to the action of secondary radiation generated by the first interacting with the walls of the device.

From the experiments done in the garden of the Academy, it follows that the device provides a minimum of 6.5 ions, a maximum of 16.6 and an average of 14.6 per cm^3 per second. Subtracting the 4.7 ions that we assume to be due to the walls, we have for the device A on the ground:

| | |
|----------|--|
| Minimum: | 1.8 ions per cm^3 and per second; |
| Maximum: | 11.9 |
| Average: | 6.9 |

and for the device B also on the ground:

| | |
|----------|--|
| Minimum: | 3.6 ions per cm^3 and per second; |
| Maximum: | 25.8 |
| Average: | 14.1 |

We see that for the first unit the oscillations of the values of the penetrating radiation over the ground are such that the minimum is 26% of the average and the maximum is 172% of the same average.

For the second device, the minimum is 25% of the average value and the maximum is 169%.

We can thus conclude that *both devices operating simultaneously on the ground showed some oscillations in the values of the penetrating radiation that are in a great approximation of the same magnitude.*

Observations on the sea

With one device (device B), we continued our observations in the garden of the Academy. The other (A) was put on a dinghy of the Navy and protected from direct radiation of the Sun. The dinghy was anchored at more than 300 meters from shore, a distance capable to reduce to a fraction of less than 4 per 100¹⁴ the radiation coming from the mainland; as at the point chosen for anchoring the depth of the sea was beyond 4 meters, the radiation from the seabed was completely absorbed¹⁵.

This first series of observations spanned nine days between August 3 and August 19. Because of unavoidable circumstances, bad weather in particular,

¹⁴K. Kurz, Phys. Zeit. **10** (1909) 832.

¹⁵Wright, *Phil. Mag.*, February 1909.

we had to suspend the tests for a few days.

The result of this series of observations was that the device A measured a minimum of 4.7 ions, a maximum of 15.2 and an average of 8.9.

Since the minimum of 4.7 is compatible with the radiation from the walls, we find that:

$$a) \text{ on the sea (device A) } \left\{ \begin{array}{l} \text{minimum very low} \\ \text{maximum of 10.5 ions} \\ \text{average of 4.2} \end{array} \right.$$

while

$$\text{on the ground (device A) } \left\{ \begin{array}{l} \text{minimum 1.8 ions} \\ \text{maximum of 11.9 ions} \\ \text{average of 6.6 ions} \end{array} \right.$$

where we took into account all the observations made on land with the device A. In average the unit A measures on the sea 2.4 ions less than on the land.

We can compare the the oscillations observed on the sea and those found on ground during the same period with the device B. Device B measured in the period from 3 August 19:

$$a') \text{ device B at ground } \left\{ \begin{array}{l} \text{minimum 7.8 ions} \\ \text{maximum of 19.9 ions} \\ \text{average of 12.8 ions} \end{array} \right.$$

Considering together the data a and a' we see that the maximum value obtained on the sea is 255% of the average, and the maximum value obtained simultaneously on land is 155% of the average.

Conclusion: while both devices showed on the ground the same oscillations of the penetrating radiation, now the device A shows oscillations that are clearly larger than those measured in the same time on the ground using the device B.

From August 20 to August 26 the position of the devices was exchanged: B was transferred on the sea and A in the garden of the Academy. The device B on the sea measured a minimum of 11.0 ions, a maximum of 20 and an average of 19.4, and assuming that 11 ions are due to the device itself, we find that:

$$b) \text{ on the sea with the device B } \left\{ \begin{array}{l} \text{minimum very low} \\ \text{maximum of 15 ions} \\ \text{average of 8.4} \end{array} \right.$$

while

$$a) \text{ on the ground with the device B } \left\{ \begin{array}{l} \text{minimum of 3.6} \\ \text{maximum of 23.8 ions} \\ \text{average of 13.4 ions} \end{array} \right.$$

taking into account again of all the observations made in the land with B.

In average the unit B measures on the land 5 ions more than on the sea.

For data on land from August 20 to August 26:

$$b') \text{ on the ground } \begin{cases} \text{minimum 3.0} \\ \text{maximum of 10.0 ions} \\ \text{average of 6.4} \end{cases}$$

Considering all the data b and b' we see that the maximum obtained at sea is 178% of the average value, the maximum obtained in the same time on the land being 172% of the corresponding average. This second series of experiments indicates that the penetrating radiation on the sea undergoes oscillations that are at least of the same order of magnitude as on the land.

About *the evolution of the phenomenon on the sea surface and on the land*, I notice that, when the two devices operate on the land under the same conditions, Figure 1 reveals for both the same trend of the penetrating radiation during the ten days of observation, and it would be of great interest to compare the trend on land and sea; it would be sufficient to compare the series of observations made on the sea with the series on the land during the same period. But it is clear that in order to show the existence of a possible correlation, it is necessary to do a long series of measurements in order to reduce the errors due to unavoidable local influences, determined by many occasional causes, to a minimum. The winds that can transport variable amounts of active material in the vicinity of the devices, the location of the instruments, the holders and the shelters can be sources of error. On the sea, at a suitable distance from the shore, these sources of error can be reduced; in any case, to make a significant comparison, a period of time longer than that I dedicated to the experiment would be needed.

However, I plotted the results of the observations made on the sea with the device A, and on the land with the device B, for the first and longest series of measurements made simultaneously at the sea surface and on land of from 3 to 19 August. The diagram in Figure 2 was constructed taking in account the mean values at every hour. Apart from the very high value obtained between 7:00 and 8:00 am on the land with device B, a correlation between the two trends can be perceived. But I repeat that for deciding on this question, a longer series of observations would be necessary.

La radiation sur le sol et sur
la mer.

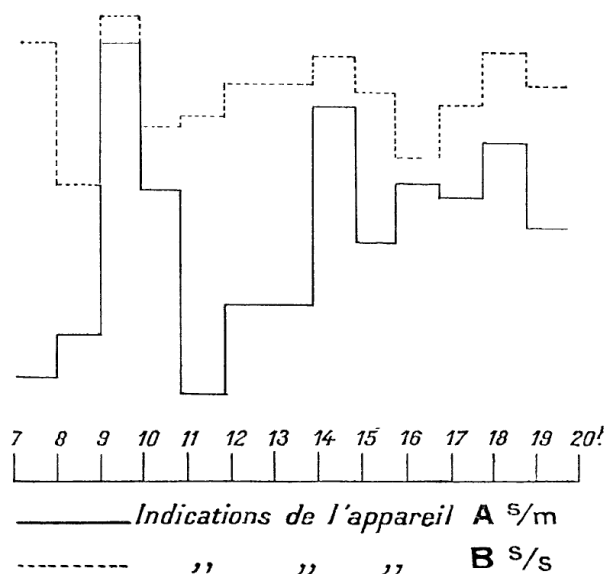


Figure 2

We now want to suggest a possible explanation of the noticeable oscillations observed at the sea surface. The radiation observed on the sea, as far as we know, can not be attributed to the active materials in the air and to the products of disintegration of the radioactive emanation contained in the sea, products whose action on the surface could, as noted by Kurz, be spread in a more effective way due to the effect of the sea waves. We found however from our observations, that there is no relationship between the state of the sea and the value of the penetrating radiation, so *we do not have any evidence to attribute oscillations of this magnitude to the decay products of radioactive emissions released into the sea by the effect of waves.*

About this result, I should recall another result that I have obtained in the Gulf of Genova¹⁶, where, studying the ionization on the open sea, I found that often such ionization was relatively low in rough sea conditions.

During the days in which the experiment was performed, the prevailing winds blew from the west, that is to say, from the sea; there were anyway also observations made under winds from the coast.

An examination of the results shows that with low or very low winds from the coast, the values of the penetrating radiation tend to be below the average, and that with moderate winds from the sea there is also a predominance of values below the average.

Note that no observations were made in presence of strong winds. Moreover,

¹⁶D. Pacini, Nuovo Cim. **15** (1908) 18.

when observations were suspended because of atmospheric disturbances, violent sea winds were often blowing. Sometimes the observations began few hours or even few moments after the wind had stopped, and one can assume in such conditions that the physical properties of air, at least at the sea surface, must be influenced for a certain amount of time by the conditions determined by the winds that previously had blown so violently. A long series of measures would be required to determine if on the sea, at a certain distance from shore, a difference of action related to the difference of the wind direction and speed exists.

Summary

1. The number of ions due to penetrating radiation on the sea is estimated to be $2/3$ of that on the ground, and consistent values for this ratio have been measured using two different devices.
2. Under the experimental conditions described in this work and according to the measurements provided by the device B, whose walls have a thickness suitable to allow the passage of the largest part of highly penetrating radiation, the number of ions generated per cm^3 per second by this radiation at the sea surface, is smaller by 5 ions with respect to the average value observed on land. We assumed for the charge of the ions the new value $e = 4.65 \times 10^{-10}$ U.E.S.
3. The penetrating radiation on the sea at a distance of more than 500 meters from shore with water depths larger than 4 meters, under conditions that allow to neglect the radiation from the soil, undergoes oscillations that are at least of the same order of magnitude than observed at the same time on the ground.
4. As no relationship appears to exist between the state of the sea and the action of gamma rays, we cannot attribute the oscillations of the radiation level to decay products of emanations that could possibly be released from the water with larger intensity, according to the intensity of the sea waves related to storms.
5. During the experiments, the winds blowing were generally weak and came from the sea; the data collected do not allow establishing whether a relationship exists between the penetrating radiation and the wind's speed and direction.

These results agree with those obtained by the author in Sestola and later by Mache in Innsbruck: in the air at the sea surface, as well as on the rocks of the Apennines near Modena, I found that the penetrating radiation may undergo large oscillations from relatively high values to so small values that they could be attributed almost entirely to the action of the walls of the device. Large

oscillations occur near the rocks of the mountains, on the air above the sea, and on the ground, where the ionization produced by radiation is larger because of the direct action of active substances from the soil.

The number of ions due to penetrating radiation on the sea being the 2/3 of those on land, we can explain the relatively high value of the ionization of the free atmosphere at the surface of the sea¹⁷. An important question remains open, since our knowledge of the quantity of active substances in sea water and air does not allow us to explain the large values found for the penetrating radiation on the sea,¹⁸ nor on the mainland (Gockel's balloon measurements¹⁹ and Wulf's measurements on the Eiffel Tower²⁰) at a sufficient height that one can neglect the action of the active substances from the soil. Anyway such results seem to indicate that *a substantial part of the penetrating radiation in the air, especially the one that is subject to significant oscillations, has an origin independent of the direct action of active substances in the upper layers the Earth's crust.*

[Manuscript received April 2, 1911].

[Translated by L. Bloch].

La radiation pénétrante sur la mer¹

Par D. PACINI

[Institut Central Météorologique et Géodynamique d'Italie.]

La radiation pénétrante observée dans l'air au-dessus de la surface du sol provient en partie des

substances actives contenues dans les couches les plus superficielles, ainsi que de leurs produits de désintégration, et en partie a son origine hors du sol.

1. Mémoire communiqué par l'auteur.

¹⁷D. Pacini, *Nuovo Cim.*, **15** (1908) 18.

¹⁸A.S. Eve, *Terr. Magn. and Atm. Elect.*, 1910 – D. Pacini, *Nuovo Cimento*, (1910) 449.

¹⁹A. Goeckel, *Phys. Zeit.*, (1910) 280.

²⁰A. Wulf, *Phys. Zeit.*, (1910) 814.

Une cause au moins de cette seconde partie se trouve dans les produits de transformation des émanations radioactives contenues dans l'air.

La radiation provenant des substances actives contenues dans le sol variera d'endroit à endroit avec la nature du terrain à proportion de sa richesse en matériaux actifs; dans un même lieu elle diminuera en général en même temps que la perméabilité de la couche superficielle, par exemple, par suite des précipitations; mais quand le terrain est sec, elle devra rester relativement constante.

La seconde partie oscillera avec les variations atmosphériques: elle subira l'influence des vents, des précipitations, des phénomènes de condensation du champ électrique terrestre, causes qui peuvent déterminer une accumulation, dans les couches inférieures de l'air et sur la surface du sol, de la matière active diffuse dans l'atmosphère.

Divers expérimentateurs, étudiant ce phénomène, ont observé qu'il est sujet à des variations notables. Par exemple, l'auteur a trouvé en 1908 à Sestola que la radiation pénétrante présente des valeurs qui varient de 6 à 30 ions par cm^2 et par seconde¹. De même Mache², de la série d'expériences qu'il a faites à Innsbruck du 1^{er} octobre 1907 au 15 octobre 1908 conclut que la portion de la radiation pénétrante due aux substances actives contenues dans l'air, ou déposées de l'air sur le sol, peut dépasser 4 fois celle qui provient du sol lui-même.

Les résultats obtenus jusqu'ici montrent que si on mesure la radiation pénétrante en un endroit où le sol est relativement riche en substances actives et à l'abri des variations atmosphériques et du champ électrique terrestre, on trouvera que l'action du sol et des parois est prépondérante, les oscillations dans les valeurs observées n'étant qu'une petite fraction de la moyenne; mais quand on expérimente, comme à Sestola, sur une hauteur exposée à des perturbations météorologiques notables et à de forts changements dans la chute du potentiel, nous devons nous attendre aussi à des variations notables dans les valeurs de la radiation pénétrante.

Toutefois, d'après Wulf et Kurz, la majeure partie de la radiation observée dans l'air près du sol, serait due aux substances actives de la couche superficielle, et la radiation qui ne provient pas de l'intérieur du sol serait négligeable par rapport à l'autre. Voici la conclusion du travail de Wulf:

1° « Le rayonnement pénétrant est causé par les substances radioactives qui gisent, dans les couches supérieures de la terre, à environ 1 m. sous la surface.

2° « La partie du rayonnement qui prend son origine

dans l'atmosphère est si petite, qu'il est impossible de la constater avec les moyens usités.

5° « Les oscillations dans le rayonnement γ peuvent être expliquées par le déplacement des masses d'air plus riches en émanations contenues dans l'intérieur de la terre aux endroits plus ou moins profonds. »

On voit donc que les résultats des expériences faites à Sestola, à Innsbruck et ailleurs ne s'accordent pas avec les conclusions auxquelles arrivent Wulf¹ et Kurz². Il est donc nécessaire de faire de nouvelles recherches pour voir si cette partie variable de la radiation pénétrante qui peut prendre parfois des valeurs notables, est vraiment due aux substances actives contenues dans le sol ou si l'on doit en rechercher la cause, au moins partielle en dehors du sol.

Il fallait pour cela instituer des expériences sur les milieux absorbant le rayonnement γ provenant du sol, et, à cet effet, j'ai fait à la surface de la mer, la série des observations dont il va être question.

Les expériences ont été faites à Livourne, à l'Académie Navale, avec deux appareils de Wulf³. Ces appareils, outre leur faible capacité (ceux dont je me suis servi avaient des capacités de 1,2 et 1,58 cm) ont l'avantage de permettre de constater le cas échéant la déperdition due à des défauts d'isolement.

Comparaison entre les indications des deux appareils.

Les deux appareils dont je me suis servi seront désignés par les lettres A et B.

Je dois faire remarquer que l'épaisseur des parois de l'appareil A est plus grande que celle des parois de B. La perte Δv_1 par défaut d'isolement a varié entre une quantité négligeable, et 0,3v par heure. C'est seulement exceptionnellement qu'elle a atteint 0,5v. Les premières observations ont été faites à l'observatoire météorologique de l'Académie Navale. Désignant par Δv la chute du potentiel en volts par heure, on trouve que la moyenne des observations faites avec l'appareil A donne pour $\Delta v - \Delta v_1$ la valeur 16,3 en volts par heure, tandis que l'appareil B donne la valeur 25,4. Ces deux nombres correspondent respectivement à 14,6 et 25,8 ions par cm^2 et par seconde. De ces valeurs il faut retrancher le montant des ions qui, comme il sera dit plus loin, peuvent être dus à l'action directe des parois des appareils, et l'on trouve aussi:

$n = 14,6 - 4,7 = 9,9$ ions par cm^2 et par seconde avec l'appareil A.

$n = 25,8 - 11,0 = 14,8$ ions par cm^2 et par seconde avec l'appareil B.

Ensuite des expériences avec les deux appareils

1. D. PAULI, *Rend. Lincei*, **18** (1909) 125.

2. H. MACHE, *Sitzungsberichten der K. Akad. der Wiss. Wien*, **119** (1910).

3. Th. WULF, *Le Radium*, **7** (1910) 171.

2. K. KURZ, *Phys. Zeitschr.*, **10** (1909) 854.

3. Th. WULF, *Phys. Zeitschr.*, **10** (1909) 152.

furent entreprises dans le jardin de l'Académie Navale.

L'Académie est au bord de la mer. L'édifice a du côté de la terre le jardin où j'ai disposé les deux appareils en les mettant à l'abri de la radiation directe du soleil. Ces observations devaient me permettre d'apprécier la manière dont se comportent les deux appareils placés dans les mêmes conditions. Les expériences furent continuées pendant 10 jours et les observations furent faites sur chaque appareil, d'heure en heure, de 7 heures du matin à 8 heures du soir.

Le diagramme de la figure 1 est la traduction graphique des moyennes obtenues en tenant compte de

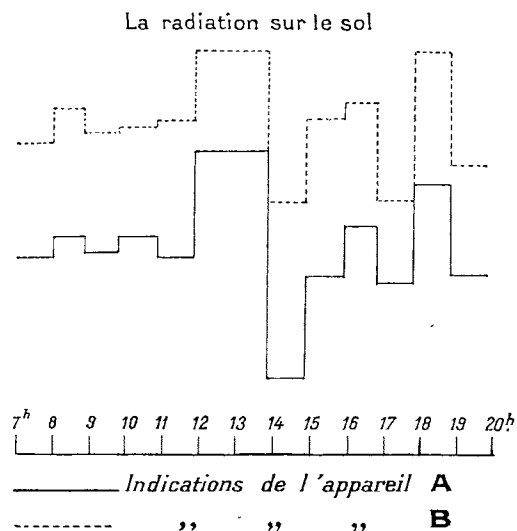


Fig. 1.

toutes les observations, et représente l'allure du phénomène de la radiation pénétrante en ce lieu dans les 10 jours pendant lesquels furent faites les observations.

Le même diagramme nous permet de faire la comparaison entre les indications de deux appareils fonctionnant simultanément dans les mêmes conditions.

Si nous tenons compte de la complexité du phénomène étudié, sur lequel influe, comme on sait, l'appareil de mesure lui-même, nous devons conclure que les deux appareils suivent avec une concordance suffisante les variations de la radiation pénétrante dans l'atmosphère.

Pour voir quelle portion de l'ionisation observée peut s'attribuer aux radiations provenant de l'extérieur, il fallait réduire autant que possible l'action des agents extérieurs et à cette fin les deux appareils furent placés en divers endroits, et protégés par d'épaisses parois de plomb. Ils furent exposés à l'air de la mer et sur le lac de Bracciano à distance suffisante du bord pour exclure totalement l'action du sol par l'absorption de la couche d'air interposée et sur une profondeur d'eau suffisante pour éliminer complètement l'action du fond. De plus l'appareil A fut

immergé dans les eaux du lac de Bracciano. Avec les couches absorbantes on n'a pas réussi à réduire l'ionisation interne au-dessous des valeurs les plus petites obtenues dans la série des expériences faites à la surface de la mer.

Le minimum de $\Delta v - \Delta v_1$, obtenu sur mer avec l'appareil A, fut de $5,5v$, ce qui équivaut à 4,7 ions par cm^2 et par seconde. L'appareil B a donné le minimum de 10,7v ou 11,0 ions.

Nous pouvons donc dire que les parois de l'appareil A engendrent par elles-mêmes tout au plus 4,7 ions par seconde et par cm^2 d'air contenu à l'intérieur de l'appareil, celle de l'appareil B tout au plus 11. Les différences entre les résultats des observations isolées et les nombres ci-dessus peuvent être attribuées à l'action des radiations pénétrantes γ provenant de l'extérieur et à l'action des radiations secondaires suscitées par les premières sur les parois de l'appareil.

Des expériences faites dans le jardin de l'Académie, il résulte que l'appareil donne un minimum de 6,5 ions, un maximum de 16,6 et une moyenne de 11,6 par cm^2 et par seconde. Retranchant les 4,7 ions que nous supposons dus aux parois, on a pour l'appareil A sur le terrain :

Minimum : 1,8 ions par cm^2 et par seconde;

Maximum : 11,9.

Moyenne : 6,9.

et pour l'appareil B également sur le terrain :

Minimum : 5,6 ions par cm^2 et par seconde;

Maximum : 23,8.

Moyenne : 14,1.

On voit que pour le premier appareil les oscillations des valeurs de la radiation pénétrante sur le terrain sont telles que le minimum est les 26 % de la moyenne, et le maximum les 172 % de la même moyenne.

Pour le second appareil le minimum représente 25 % de la valeur moyenne et le maximum 169 %.

Nous pouvons donc conclure que les deux appareils fonctionnant simultanément sur le terrain nous ont donné chacun dans les valeurs de la radiation pénétrante des oscillations qui sont avec une grande approximation de la même grandeur.

Observations faites sur la mer.

Avec l'un des appareils (l'appareil B), on a continué les observations dans le jardin de l'Académie. L'autre (A) fut hissé à bord d'un canot de la marine et mis à l'abri de la radiation directe du soleil. Le canot fut ancré à plus de 500 mètres du rivage, distance à laquelle la radiation provenant de la terre ferme était réduite à une fraction inférieure à 4 pour 100¹; et,

¹ K. Kuntz, *Phys. Zeitschr.*, 10 (1909) 852.

comme au point choisi pour le mouillage la profondeur de la mer dépassait 4 mètres, les radiations venant du fond étaient totalement absorbées¹.

Pour cette première série d'observations on a employé 9 jours entre le 5 et le 19 août. A cause de circonstances inévitables, spécialement à cause du mauvais temps, on a dû suspendre les expériences pendant quelques jours.

Le résultat de cette série d'observations est que l'appareil A a donné un minimum de 4,7 ions, un maximum de 15,2 et une moyenne de 8,9.

Et puisque nous considérons ce minimum de 4,7 comme entièrement dû aux parois, nous trouvons que :

$$a) \text{ sur mer (appareil A) } \begin{cases} \text{minimum très faible} \\ \text{maximum de 10,5 ions} \\ \text{moyenne de 4,2} \end{cases}$$

tandis que :

$$\text{sur terre (appareil A) } \begin{cases} \text{minimum de 1,8} \\ \text{maximum de 11,9} \\ \text{moyenne de 6,6} \end{cases}$$

où l'on a tenu compte de toutes les observations faites à terre avec l'appareil A. En moyenne l'appareil A nous donne sur mer 2,4 ions de moins que sur terre.

Nous pouvons faire la comparaison entre la grandeur des oscillations trouvées sur mer et celles des oscillations trouvées sur terre pendant le même temps avec l'appareil B.

Celui-ci nous a donné dans la période du 5 au 19 août :

$$a') \text{ B à terre } \begin{cases} \text{minimum de 7,8 ions} \\ \text{maximum de 19,9} \\ \text{moyenne de 12,8.} \end{cases}$$

Considérant ensemble les données *a* et *a'* nous voyons que la valeur maxima obtenue sur mer est 255 % de la moyenne; la valeur maxima obtenue simultanément à terre 155 % de la moyenne.

Conclusion : tandis que les deux appareils indiquaient à terre des oscillations égales de la radiation pénétrante, maintenant l'appareil A fonctionnant sur mer nous révèle des oscillations nettement supérieures à celles qui sont fournies dans le même temps à terre par l'appareil B.

Du 20 au 26 août les appareils furent changés de position : B fut porté en mer et A dans le jardin de l'Académie.

L'appareil B en mer nous a donné un minimum de 11,0 ions, un maximum de 26 et une moyenne de 19,4, et dans l'hypothèse que 11 ions sont dus à l'appareil lui-même, nous trouvons que :

$$b) \text{ sur mer avec l'appareil B } \begin{cases} \text{Minimum très faible} \\ \text{maximum de 15 ions} \\ \text{moyenne de 8,4} \end{cases}$$

tandis que :

$$a) \text{ sur terre avec l'appareil B } \begin{cases} \text{minimum de 5,6 ions} \\ \text{maximum de 25,8} \\ \text{moyenne de 15,4} \end{cases}$$

tenant compte ici encore de toutes les observations faites à terre avec B.

En moyenne l'appareil B nous fournit à terre 5 ions de plus que sur mer.

Pour les données obtenues sur terre ferme du 20 au 26 août :

$$b') \text{ à terre } \begin{cases} \text{minimum de 3,0 ions} \\ \text{maximum de 10,0} \\ \text{moyenne de 6,4} \end{cases}$$

Considérant ensemble les données *b* et *b'* on voit que le maximum obtenu sur mer est 178 % de la valeur moyenne, le maximum obtenu dans le même temps à terre étant 172 % de la moyenne correspondante. Cette seconde série d'expériences nous indique que sur mer la radiation pénétrante subit des oscillations qui sont au moins du même ordre de grandeur que sur terre.

Touchant l'allure du phénomène sur mer et sur terre j'observe que, quand les deux appareils fonctionnent à terre dans les mêmes conditions, la figure 1 nous révèle pour les deux la même allure de la radiation pénétrante dans les dix jours d'observation, et il serait du plus grand intérêt de comparer l'allure du phénomène sur terre et sur mer; il suffirait pour cela de confronter la série d'observations faites sur mer avec celle qui a été faite à terre pendant le même temps. Mais il est évident que dans les phénomènes de cette nature, pour pouvoir se prononcer sur l'existence d'une analogie d'allure plus ou moins grande, il faut une longue série de mesures; et cela pour réduire dans l'ensemble au minimum les erreurs provenant des influences locales inévitables, mais qui peuvent être déterminées par beaucoup de causes occasionnelles. Les vents qui peuvent transporter au voisinage des appareils des quantités variables de matière active, la disposition des instruments, l'action des supports et des abris peuvent être autant de causes d'erreurs. Sur mer, à distance convenable du bord, ces causes d'erreur peuvent être moindres, en tout cas il faudrait, pour faire une comparaison, une période de temps plus longue que celles durant laquelle j'ai pu expérimenter.

J'ai toutefois construit le diagramme des observations faites en mer avec l'appareil A et à terre avec B : la première et la plus longue série de mesures faites simultanément en mer et sur terre du 5 au 19 août. Le diagramme de la fig. 2 a été construit en prenant les valeurs moyennes pour chaque heure. Si l'on excepte la valeur très élevée obtenue entre 7 heures et 8 heures du matin à terre avec l'appareil B, on

aperçoit dans le reste des deux lignes une certaine analogie. Mais je répète que, pour décider cette question, une série d'observations plus longues est nécessaire.

Nous voulons maintenant présenter une considération destinée à nous orienter en quelque façon sur le

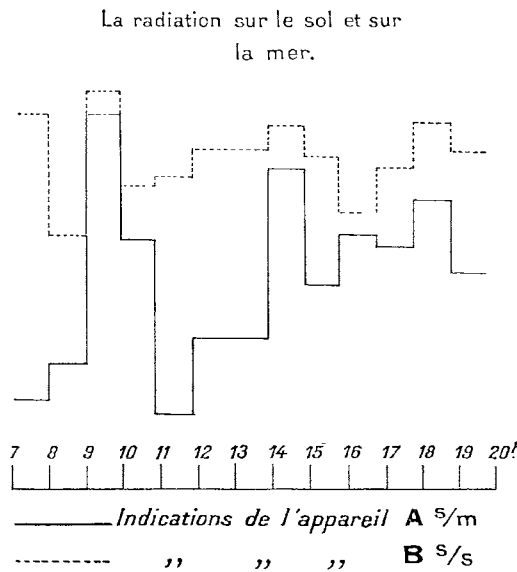


Fig. 2.

siège de la cause des oscillations notables observées à la surface de la mer. La radiation observée sur mer, pour autant qu'on la connaît, ne peut être attribuée qu'aux produits actifs présents dans l'air et aux produits de désintégration des émanations radioactives contenues dans la mer, produits dont l'action à la surface pourrait, comme l'a remarqué Kurz¹, être d'autant plus sensible que le dégagement d'émanation serait plus favorisé par la houle. Des observations individuelles que nous avons faites, nous devons conclure qu'il n'y a aucune relation entre l'état de la mer et la valeur de la radiation pénétrante; nous n'avons donc aucun élément pour attribuer les oscillations de cette grandeur aux produits de désintégration des émanations radioactives libérées dans la mer par l'effet de la houle.

A propos de ce résultat, il convient de rappeler un autre résultat obtenu par moi dans le golfe de Gènes², lorsque, étudiant l'ionisation de l'air libre sur mer, j'ai trouvé que souvent l'ionisation était relativement faible quand la mer était agitée.

Pendant les journées d'expérience, les vents prédominants soufflaient de l'ouest, c'est-à-dire de la mer; il y eut pourtant aussi des observations faites par vent de terre.

L'examen des résultats montre seulement que par

vent de terre faible ou très faible, il y a prédominance de valeurs de la radiation pénétrante inférieure à la moyenne, et qu'avec des vents de mer modérés il y a également prédominance de valeurs inférieures à la moyenne.

Notons qu'on n'a pas fait d'observations par vent fort. De plus, dans les intervalles pendant lesquels on n'a pu expérimenter à cause des perturbations atmosphériques, on a eu souvent des vents de mer violents. Parfois les observations ont commencé quelques heures ou même quelques instants après cessation du vent de mer violent, et l'on peut penser que dans ces conditions les propriétés physiques de l'air, au moins sur mer, doivent se ressentir pendant un certain temps des conditions déterminées par les vents qui ont soufflé avec violence dans la période précédente.

Pour décider s'il existe sur mer, à une certaine distance du rivage, une différence d'action qui se rattache aux différences d'orientation et de vitesse du vent, il faudrait donc une longue série de mesures.

Résumé.

1. Le nombre des ions dus à la radiation pénétrante sur mer est estimé les 2/3 de celui qu'on rencontre sur terre ferme, et ce rapport a été obtenu d'une façon concordante avec deux appareils différents.

2. Dans les conditions expérimentales décrites au cours de ce travail et selon les indications fournies par l'appareil B, dont les parois ont une épaisseur convenable pour laisser passage à la grande majorité des radiations très pénétrantes, sur mer le nombre d'ions engendrés par cette radiation par cm^2 et par seconde, est inférieur de 5 ions à la valeur moyenne observée sur terre ferme. On a pris pour la charge de l'ion la valeur nouvelle corrigée $e = 4,65 \cdot 10^{-10}$ U. E. S.

3. La radiation pénétrante sur mer, à une distance de plus de 500 mètres du rivage et avec une profondeur d'eau supérieure à 4 mètres, dans des conditions qui permettent de négliger les radiations venant de la terre, subit des oscillations qui sont au moins du même ordre de grandeur que celles qu'on observe dans le même temps à terre.

4. Comme il ne paraît exister aucune relation entre l'état de la mer et l'action des valeurs du rayonnement γ , nous ne pouvons attribuer les oscillations de ce rayonnement aux produits de désintégration des émanations qui pourraient éventuellement être libérées des eaux avec plus ou moins de facilité, selon l'intensité de la houle.

5. Durant les expériences, les vents qui soufflaient étaient généralement faibles et venaient de la mer; les données recueillies ne permettent pas d'établir s'il existe ou non une relation entre la radiation pénétrante et la vitesse et l'orientation du vent.

Ces résultats s'accordent avec ceux qui ont été

1. K. KURZ, *Abh. d. k. Bayer. Akad. d. Wiss.*, 25 (1909) 1.
 2. D. PACINI, *Nuovo Cimento*, 15 (1908) 18.

obtenus par l'auteur à Sestola et postérieurement par Mache à Innsbrück : dans l'air à la surface de la mer comme sur les roches de l'Apennin, près de Modène, j'ai constaté que la radiation pénétrante peut subir d'amples oscillations, passant de valeurs relativement élevées à des valeurs si petites qu'on doit les attribuer presque totalement à l'action des parois de l'appareil. Les grandes oscillations se rencontrent donc à la fois sur les roches des montagnes, dans l'air de la mer, et sur le sol ordinaire où pourtant l'ionisation de l'air produite par la radiation pénétrante est plus grande à cause de l'action directe des substances actives du sol.

Le nombre des ions dus à la radiation pénétrante sur mer étant les $\frac{2}{5}$ de celui qu'on observe sur terre ferme, on s'explique les valeurs relativement élevées de l'ionisation de la libre atmosphère à la surface de la mer¹. Une grave question reste ouverte, par suite du fait que nos connaissances touchant la quantité des substances actives contenues

dans l'eau de la mer et dans l'air ne nous permettent pas de nous expliquer les valeurs élevées trouvées par l'expérience pour la radiation pénétrante sur mer¹, ni sur le continent (expériences de Gockel en ballon² et de Wulf sur la Tour Eiffel³) à une hauteur suffisante pour qu'on puisse négliger l'action directe des substances actives contenues dans le sol. D'ailleurs les résultats précédents semblent montrer *qu'une partie appréciable de la radiation pénétrante présente dans l'air, particulièrement celle qui est sujette à des oscillations notables, a une origine indépendante de l'action directe des substances actives contenues dans les couches supérieures de la croûte terrestre.*

[Manuscrit reçu le 2 Avril 1911].

[Traduit par L. Bloch].

1. A. S. EVE, *Terr. Magn. and Atm. Elect.*, 1910. — D. PACINI, *Nuovo Cimento*, (1910) 449. ¶

2. A. GOCKEL, *Phys. Zeitschr.*, (1910) 280.

3. Th. WULF, *Phys. Zeitschr.*, (1910) 811.

1. D. PACINI, *Nuovo Cimento*, 15 (1908) 18.